

KARAKTERISTIK PELUAHAN SEBAGIAN (*PARTIAL DISCHARGE*) PADA ISOLASI EPOKSI RESIN (*RESIN EPOXY*) DENGAN METODE EMISI AKUSTIK

Derry Ferdiansyah¹, Jannus Maurits Nainggolan.², Dikpride Despa³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹derryferdians@gmail.com

²mauritus24@gmail.com

³despa@eng.unila.ac.id

Abstrak—Sistem isolasi sangat penting untuk menentukan kondisi peralatan tegangan tinggi. Salah satu pengujian terhadap kondisi sistem isolasi adalah dengan pengukuran peluahan sebagian. Akan tetapi kebanyakan penelitian peluahan sebagian yang telah diterapkan adalah bersifat merusak material isolasi yang diuji, oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan pengujian peluahan sebagian dengan metode Emisi Akustik yang tidak merusak material (*Non-Destructive Testing*). Metode Emisi Akustik ini menggunakan sensor emisi akustik untuk menangkap gelombang elastis yang dikeluarkan oleh material, penelitian ini dilakukan untuk mencari karakteristik peluahan sebagian dari isolasi epoksi resin yang dihasilkan oleh pengujian pada jarak 24 dan 36 mm (frekuensi dominan dan arus bocor). Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa isolasi epoksi resin memiliki karakteristik frekuensi dominan 960 kHz dan arus bocor yang berkisar 42-48 mA.

Kata kunci —Peluhan Sebagian, Emisi Akustik, Epoksi Resin, Frekuensi dominan.

Abstract — Insulation system is essential to determine the condition of high voltage equipment. One of the conditions insulation system testing is the partial discharge testing. However, most studies that have applied partial discharge constrains destructive testing insulation material, therefore the partial discharge testing in this research is using Acoustic Emission method which does not damage the material (*Non-Destructive Testing*). Acoustic Emission method is using Acoustic Emission Sensors to capture the elastic waves that released by material, This research is done by searching the partial discharge characteristics of the insulation resin epoxy generated by testing sensor distance 24 mm and 36 mm (dominant frequency, and leakage current). From the results of test, it's known that the insulation of the epoxy resin has a frequency characteristic of 960 kHz, and a leakage current which range of 42-48 mA.

Keywords— *Partial Discharge, Acoustic Emission, Resin Epoxy, Frequency Dominan.*

I. PENDAHULUAN

1) Latar Belakang

Pertumbuhan beban dan penggunaan sistem transmisi tegangan tinggi mengharuskan perlakuan khusus dari peralatan tegangan tinggi, tingkat tegangan, kapasitas dan ukuran yang besar pada peralatan tegangan tinggi akan menimbulkan masalah dalam hal mobilitas, sehingga sulit dalam pemeliharaan dan perbaikan, maka diperlukan pengembangan sistem isolasi yang baik untuk menentukan kondisi peralatan tegangan tinggi. Bahan isolasi padat yang dikenal pada umumnya adalah bahan dari porselin/keramik dan kaca/gelas, tetapi sedang dikembangkan isolator dari bahan polimer. Isolator polimer memiliki kelebihan yaitu memiliki densitas yang rendah, dibandingkan dengan logam dan keramik, memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang baik untuk beberapa jenis polimer,

ketahanan korosi yang tinggi, konduktivitas listrik dan panas yang rendah. Beberapa jenis polimer seperti epoksi resin sangat kompetitif dibandingkan dengan gelas/kaca karena memiliki karakteristik yang baik dan biaya yang lebih efisien.^[1]

Salah satu pengujian terhadap kondisi sistem isolasi pada suatu peralatan adalah dengan pengukuran peluahan sebagian (*partial discharge*). Emisi akustik merupakan salah satu uji coba peluahan sebagian. Kelebihan sensor emisi akustik adalah dapat mendeteksi keseluruhan struktur pengujian dengan meletakan sensor dibeberapa lokasi, pengujian dapat dilakukan saat sistem dalam keadaan berkerja, prinsip emisi akustik ini secara pasif mendengarkan gelombang suara yang dihasilkan oleh tekanan (*stress*) di dalam suatu material.^[2]

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sensor emisi akustik untuk mencari sifat kegagalan dari bahan isolasi padat pada sistem kelistrikan tegangan

tinggi, bahan isolasi padat yang digunakan dalam uji peluahan sebagian adalah epoksi resin dan karet silikon.

2) Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan karakteristik gelombang peluahan sebagian dari epoksi resin yang mencakup bentuk/besar tegangan peluahan dan arus bocor.
2. Mendapatkan besaran frekuensi (Hz) peluahan sebagian yang terjadi dalam rongga udara pada epoksi resin.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Isolasi

Sistem isolasi sangat diperlukan pada peralatan tegangan tinggi untuk membatasi bagian-bagian bertegangan agar tidak terjadi hubung singkat satu dengan yang lain sehingga tidak terjadi kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi pada peralatan tegangan tinggi dapat terjadi pada saat peralatan sedang beroperasi yang bisa menyebabkan kerusakan alat sehingga kontinuitas sistem menjadi terganggu. Pada saat sistem isolasi ini menahan tekanan elektrik (*electrical stresses*) dan tekanan suhu (*thermal stresses*) yang dapat menyebabkan penuaan (*aging*) akan ditandai dengan adanya peristiwa peluahan sebagian^[3]. Peluahan sebagian dibagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu *internal discharge* atau *void*, *surface discharge* atau peluahan sebagian pada permukaan dan *corona discharge*.^[4]

B. Epoksi Resin

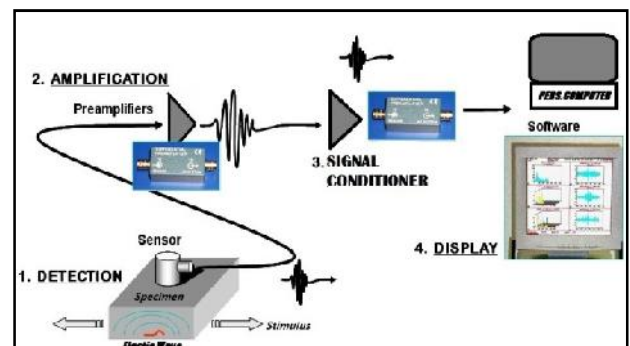
Epoksi resin merupakan golongan polimer termoset dimana campuran dua komponen yang akhirnya berbentuk seperti kaca pada temperature ruang yang mempunyai sifat isolasi listrik yang layak dan juga mempunyai kekedapan air yang tinggi. Kelebihan yang dimiliki oleh isolator polimer dengan jenis resin epoksi ini di antaranya adalah rapat massa 0,9-2,5 gram/cm³ yang lebih rendah dibandingkan dengan isolator porselin yang rapat massanya 2,3-3,9 gram/cm³ dan isolator gelas dengan rapat massa 2,5 gram/cm³, serta proses pembuatannya yang tidak memerlukan energi yang terlalu besar hanya membutuhkan suhu antara 20°C -30°C.

Sifat dielektrik bahan isolasi resin epoksi memiliki konstanta dielektrik 2,3-5,5 dan faktor disipasi (0,1-5) x10⁻³ akan lebih baik dibandingkan dengan isolator porselin dengan konstanta dielektrik 5,0 - 7,5 dan faktor disipasi (20-40) x 10⁻³ sedangkan isolator gelas memiliki konstanta dielektrik 7,3 dan faktor disipasi (15-50) x10⁻³.

Massa bahan isolasi polimer resin epoksi yang lebih ringan dibanding porselin dan gelas memberikan peluang baru pada desain menara saluran transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi yang lebih baik.^[5]

C. Emisi Akustik

Emisi Akustik didefinisikan sebagai gelombang transien elastik yang dibangkitkan oleh suatu pelepasan ketika terjadi propagasi keretakan dan *deformasi* (perubahan bentuk) di dalam suatu material. Uji emisi akustik dapat didefinisikan sebagai uji coba yang tidak merusak (*Non-Destructive Testing, NDT*). Kelebihan dari emisi akustik ini adalah dapat mendeteksi keseluruhan struktur pengujian dengan meletakkan sensor di beberapa lokasi, pengujian dapat dilakukan saat struktur dalam keadaan bekerja, dan penggunaan beberapa sensor memungkinkan menentukan sumber lokasi kesalahan, prinsip emisi akustik ini secara pasif mendengarkan gelombang suara yang dihasilkan oleh *stress* (tekanan) di dalam suatu material. Dengan demikian, seolah-olah suatu bahan material dapat “berbicara/mengeluh” apabila mereka memiliki masalah internal, seperti adanya pertumbuhan defek (cacat), perkembangan keretakan, dan kerusakan-kerusakan internal lainnya yang diakibatkan oleh *stress* (tekanan)^[6]. Pengujian emisi akustik ditampilkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Uji Emisi Akustik

dengan menggunakan emisi akustik kerusakan skala kecil suatu material dapat dideteksi sedini mungkin untuk mencegah kemungkinan-kemungkinan berbahaya yang dapat muncul dikemudian hari.

III. METODE PENELITIAN

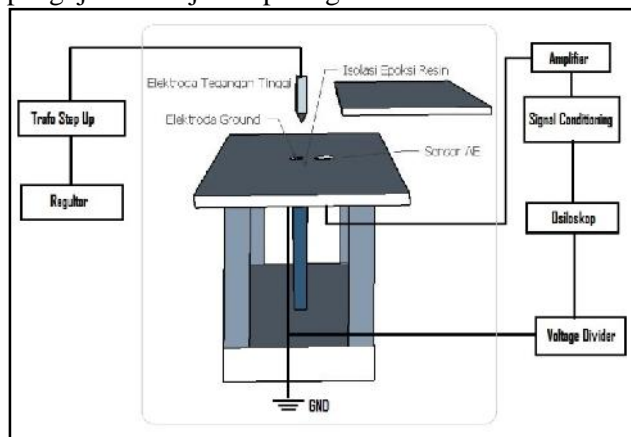
A. Rangkaian Pengujian

Kerangka pengujian dibuat menggunakan bahan *acrelis* berbentuk bidang segiempat. Pada keempat tepi tersebut dipasang tiang penyangga dengan tinggi tiang 18 cm. Pada kerangka pengujian yang dibuat terdiri dari dua lantai yaitu lantai atas dan lantai bawah. Pada bagian lantai atas dengan ukuran

21 x 21 cm digunakan sebagai tempat pengujian yang dilakukan.

Dibagian bawah lantai atas akan dipasang elektroda pentanahan dengan diameter 13 mm yang digunakan untuk menghubungkan dengan sistem pentanhan, kemudian sensor dipasang pada jarak tertentu dari titik tengah elektroda ground. Tegangan tinggi terhubung pada elektroda jarum. Sementara elektroda pentanahan terhubung pada *ground*. Panjang elektroda jarum adalah 70 mm dengan diameter 3 mm. Lebar elektroda plat adalah 3 mm dengan diameter 13 mm. Diantara elektroda terdapat Isolasi uji dengan tebal 8 mm.

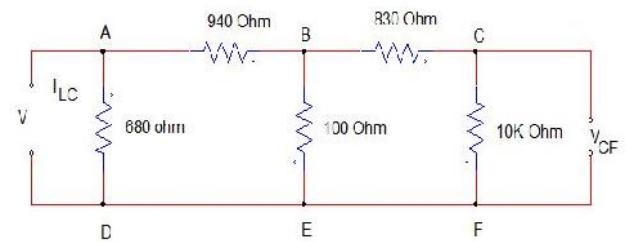
Diantara elektroda terdapat sampel isolasi (yaitu epoksi resin) dengan tebal 8 mm. Pada titik tengah epoksi resin dibuat lubang (*hole*) dengan diameter 3 mm. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan sumber peluahan sebagian jenis rongga. Rangkaian pengujian ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1. Rangkaian Pengujian

B. Proses Pengujian

Pada pengujian ini, sumber AC dihubungkan pada regulator, keluaran dari regulator kemudian dihubungkan ke input trafo atau sisi primer trafo, kemudian pada bagian sisi sekunder trafo dihubungkan ke elektroda tegangan tinggi dan elektroda *ground* untuk memberi beda potensial, dan memberikan tekanan (*stress*) pada isolasi, tekanan yang diberikan akan dibaca oleh sensor yang diletakan pada bahan uji isolasi untuk menangkap sinyal yang dihasilkan dari tekanan yang diberikan. Sinyal yang ditangkap dikuatkan oleh *preamplifier* dan dikondisikan oleh *signal conditioner*. Sedangkan pengukuran arus bocor dilakukan dengan menghubungkan *voltage divider* pada elektroda *ground*, pada Pengujian arus bocor dihitung dengan bantuan *voltage divider*. Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan untuk bantuan arus bocor ditunjukkan pada gambar 3.2



Gambar 3.2. Voltage Divider

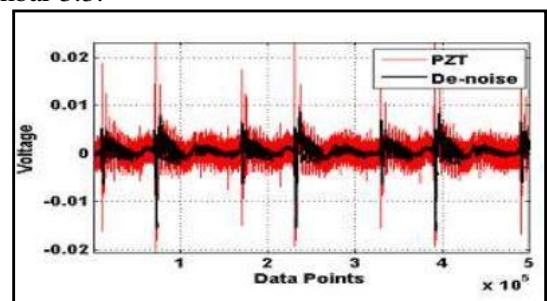
Tegangan keluaran yang dihasilkan dari pengujian peluahan sebagian direpresentasikan dengan V dan ILC merupakan arus bocor yang dihasilkan oleh peluahan yang terjadi, sedangkan VCF adalah tegangan yang ditangkap oleh osiloskop dari hasil proses pembagian tegangan pada rangkaian. Melalui perhitungan Nilai ILC nya adalah

$$I_{LC} = 0.02764499949 V_{CF} \dots \dots \dots (3.1)$$

Maka dari rangkaian dan persamaan diatas nilai arus bocor direpresentasikan dengan ILC yang bernilai 0.02764499949 kalinya nilai tegangan yang dibaca oleh osiloskop (VCF).

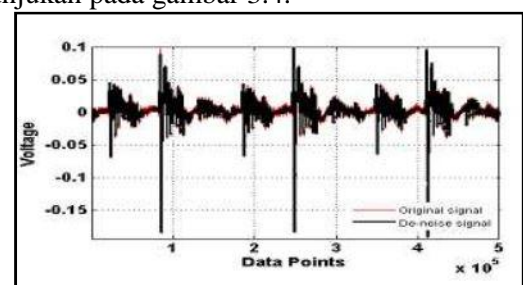
C. Pengolahan Data

Dari data-data sinyal yang sudah didapatkan dari MS-Excel diolah menggunakan bantuan *software Matlab*, karena sinyal yang didapat masih bercampur dengan *noise* (sinyal gangguan). Sinyal Peluahan yang masih bercampur oleh *noise* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 sinyal peluahan sebagian bercampur *noise*

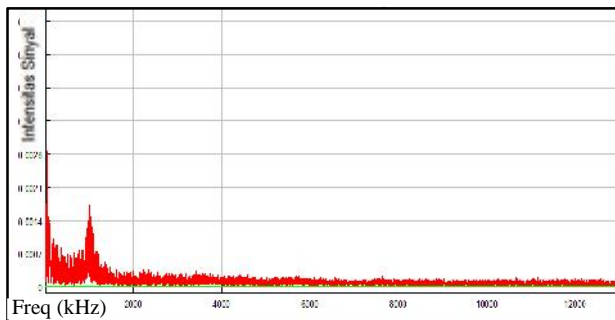
Setelah itu sinyal akan diolah kembali pada matlab dengan proses *denoising* menggunakan *mother wavelet Db 4* dengan level 1, berikut adalah contoh sinyal yang sudah dilakukan proses *denoising* menggunakan *toolbox wavelet 1-D*^[7] yang ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 sinyal hasil *denoised*

Untuk mengetahui karakteristik frekuensi dominan pada suatu peluahan sebagian yang terjadi, Pada tahap pertama adalah menyalin besar magnitudo dari data yang dihasilkan oleh osiloskop dalam bentuk .csv. Data peluahan sebagian yang dihasilkan oleh osiloskop memiliki satuan *microsecond* untuk nilai waktu dan satuan milivolt untuk nilai magnitudo.

Nilai magnitudo gelombang peluahan kemudian disalin ke dalam *file* data dengan ekstensi “.txt” dan diolah dengan menggunakan bantuan fungsi FFT pada *software* untuk mengetahui karakteristik frekuensi dominan, data magnitude pada peluahan sebagian dalam bentuk .txt diolah dengan *toolbox open(.txt)* dan kemudian analisis data dengan bantuan menu FFT sehingga akan muncul gelombang hasil konversi waktu kedalam frekuensi yang diubah oleh *software* yang ditampilkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 proses analisis Frekuensi Dominan

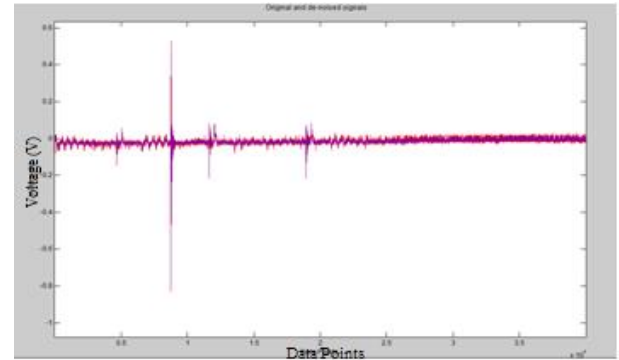
Dari analisis FFT yang dilakukan dengan menggunakan *software* dimana diambil rentang frekuensi dominan dari 2 (dua) titik frekuensi dominan yang didapat, nilai frekuensi dominan didapat dari hasil rata-rata puncak tersebut.

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian peluahan sebagian pada isolasi epoksi resin divariasikan jarak sensornya pada 24 mm dan 36 mm, Tegangan kritis pada jarak 24 mm adalah 1.5 kV maka tegangan uji yang digunakan adalah 1.4 kV, 1.3 kV, 1.2 kV dan tegangan kritis pada jarak 36 mm yaitu 1.7 kV tegangan ujinya adalah 1.6kV, 1.5kV dan 1.4kV.

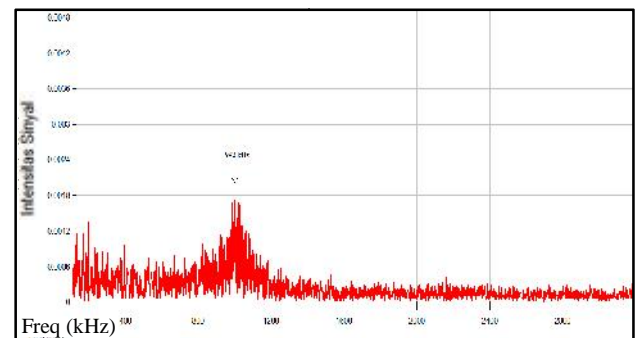
A. Pengujian Pada Jarak 24 mm

Pada pengujian 24 mm sinyal peluahan yang terdeteksi dapat dilihat pada gambar yang ditunjukan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Sinyal Peluahan Sebagian pada 24 mm

Pada gambar 4.1 Sinyal peluahan diolah dan dilakukan *denoised* atau pemisahan sinyal asli dengan *noisenya* dengan menggunakan *mother wavelet SYM 4 Level 1* (lebih baik dibandingkan dengan *DB 4 Level 1*). Untuk mengetahui karakteristik dari sinyal dilakukan analisis frekuensi dominan dan arus bocor. Dari pengujian yang didapat rentang frekuensi dominannya yang ditampilkan pada gambar 4.2



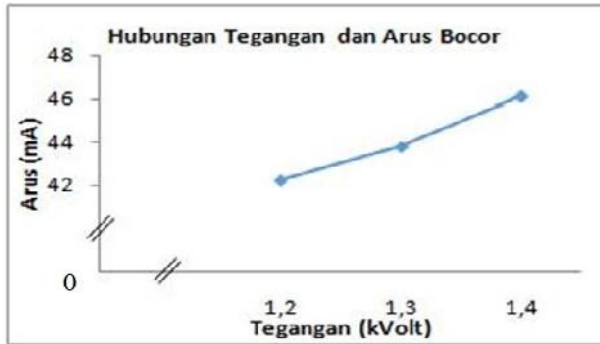
Gambar 4.2 Frekuensi Dominan pada 24 mm

Pengujian arus bocor dilakukan dengan mengamati tegangan yang dibaca osiloskop tiap menitnya sampai terjadi peluahan sebagian, kemudian tegangan yang dibaca dikonversi menjadi arus untuk mengetahui arus bocornya. Data hasil pengujian peluahan sebagian pada isolasi resin epoksi dengan jarak 24 mm dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian pada Jarak 24 mm

Tegangan (kV)	Amplitudo AE Sinyal	Arus Bocor (mA)	Frekuensi Dominan (kHz)
1.4	0,8	46.12	992
1.3	0,72	43.78	990
1.2	0,53	42.21	968

Tabel 4.1 menunjukan hasil pengujian pada jarak 24 mm, tegangan uji yang digunakan adalah 1.4 kV, 1.3 kV, 1.2 kV dan terlihat bahwa dengan kenaikan tegangan uji, maka terlihat kenaikan amplitudo AE (Acoustic Emission) signal yang terekam oleh sensor dan juga kenaikan arus bocor yang signifikan. Hal ini dapat diperlihatkan lebih baik pada gambar 4.3.

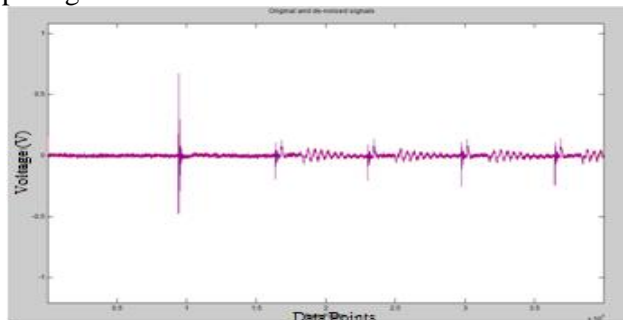


Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tegangan dan Arus Bocor

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan Arus Bocor pengujian dengan tegangan uji adalah berbanding lurus.

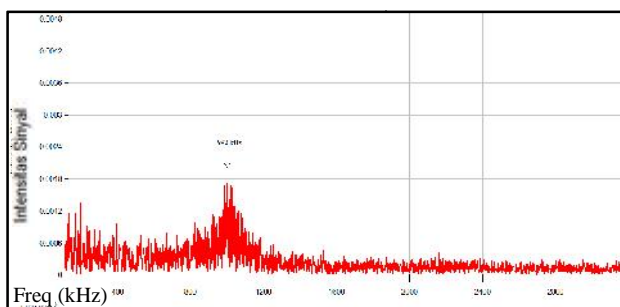
B. Pengujian Pada Jarak 36 mm

Pada pengujian 36 mm sinyal peluahan yang terdeteksi dapat dilihat pada gambar yang ditunjukkan pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Sinyal Peluahan Sebagian pada 36 mm

Pada gambar 4.4 Sinyal peluahan diolah dan dilakukan *denoised* atau pemisahan sinyal asli dengan *noisenya* dengan menggunakan *mother wavelet SYM 4 Level 1* (lebih baik dibandingkan dengan *DB 4 Level 1*). Untuk mengetahui karakteristik dari sinyal dilakukan analisis frekuensi dominan dan arus bocor. Dari pengujian yang didapat rentang frekuensi dominannya yang ditampilkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Frekuensi Dominan pada 36 mm

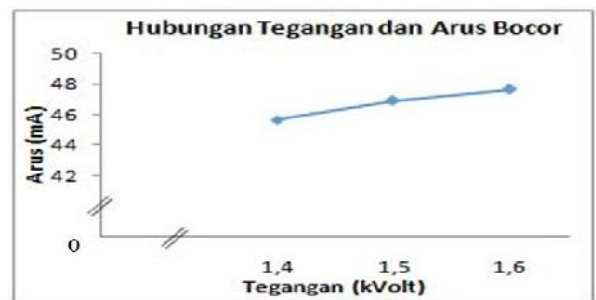
Pengujian arus bocor dilakukan dengan mengamati tegangan yang dibaca osiloskop tiap menitnya sampai terjadi peluahan sebagian, kemudian

tegangan yang dibaca dikonversi menjadi arus untuk mengetahui arus bocornya. Data hasil pengujian peluahan sebagian pada isolasi resin epoksi dengan jarak 36 mm dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Pengujian pada jarak 36 mm

Tegangan (kV)	Amplitudo AE Sinyal	Arus Bocor (mA)	Frekuensi Dominan (kHz)
1.6	0,7	47.68	949
1.5	0,32	46.90	946
1.4	0,32	45.67	967

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian pada jarak 36 mm, dimana tegangan uji yang digunakan adalah 1.6 kV, 1.5 kV, 1.4 kV dan terlihat bahwa dengan kenaikan tegangan uji, maka terlihat kenaikan amplitudo sinyal yang terekam oleh sensor dan juga kenaikan arus bocor yang signifikan. Hal ini dapat diperlihatkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Tegangan dan Arus Bocor

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan arus bocor pengujian dan tegangan uji terjadinya peluahan sebagian adalah berbanding lurus, semakin besar tegangan maka arus bocor semakin besar.

C. Perbandingan Pengujian Pada Jarak 24 mm dan 36 mm

Telah dilakukan pengujian pada masing-masing jarak 24 mm dan 36 mm, dan didapat perbandingan kedua pengujian ini yaitu perbedaan frekuensi dominan dan perbandingan antara tegangan dan arus bocornya.

1). Perbandingan Frekuensi Dominan

Besar nilai rentang frekuensi dominannya pada jarak 24 mm dan 36 mm adalah hampir sama (tabel 4.1 dan 4.2) maka dapat diambil rerata frekuensi dominan adalah 960 kHz, dibandingkan dengan frekuensi dominan yang diuji pada material EPR (*Ethylene Propylene Rubber*) dimana frekuensi dominannya adalah 70 kHz^[8], maka perbedaan ini dapat terjadi karena perbedaan struktur dan sifat material dari epoksi resin daripada EPR.

2). Perbandingan Tegangan dan Arus Bocor
Perbandingan tegangan dan arus dapat dilihat dari gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Tegangan dan Arus Bocor

Dari gambar 4.7 diketahui bahwa untuk perbandingan antara 24 mm dan 36 mm disimpulkan bahwa semakin jauh jarak sensor, arus bocor semakin besar. Ini terjadi, dengan jarak sensor semakin panjang tegangan uji semakin besar, maka amplitudo arus bocor juga akan semakin besar. Hal itu terjadi karena semakin jauh jarak sensor mengakibatkan terjadinya akumulasi muatan yang mengalir/menumpuk di sepanjang jalur ionisasi yang ditangkap oleh sensor emisi akustik. Sehingga disimpulkan bahwa perbandingan antara tegangan dan arus bocor yaitu berbanding lurus, dan tegangan peluahan pada jarak 36 mm lebih besar dari jarak 24 mm.

V. SIMPULAN DAN SARAN

1) Kesimpulan

Setelah melakukan proses pengujian serta analisa data maka diperoleh simpulan sebagai berikut.

1. Tegangan kritis pada isolasi epoksi resin 1.5 kV pada jarak 24 mm dan 1.7 kV pada jarak 36 mm
2. Rerata frekuensi dominan pada epoksi resin untuk lubang tunggal adalah 960 kHz.
3. Arus bocor pada epoksi resin adalah berkisar 42-48 mA.
4. Perbandingan antara tegangan terhadap arus bocor pada jarak sensor 24 mm dan 36 mm yaitu berbanding lurus.

2) Saran

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian lebih lanjut mengenai pendeteksian beragam sumber peluahan sebagian sebaiknya dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan yang memiliki kapasitas tegangan yang lebih besar, sensor yang sensitif dan terhindar dari interferensi gelombang gangguan (*noise*), sehingga dapat diperoleh karakteristik

gelombang peluahan sebagian secara jelas dari peluahan yang dihasilkannya.

2. Penelitian lebih lanjut sebaiknya menggunakan panjang sinyal atau jumlah titik data pada osiloskop yang memiliki kapasitas lebih besar agar banyaknya interval antara peluahan sebagian yang terjadi dalam suatu pengujian dapat diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suwarno, *Study on electrical treeing and partial discharge in Polymeric Insulating Materials*, A Dissertation for The Doctor Degree at School of Engineering, Nagoya University, Japan, 1996.
- [2] Richard D. Finleyson. *Handbook of Nondestructive Evaluation*, McGraw-Hill Companies, chapter 10 – Acoustic Emission Testing, (2003), pp10.-10.39.
- [3] Bonggas L. Tobing. *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. 2003. h. 12
- [4] D. König, Y.N. Rao, "Partial Discharges in Electrical Power Apparatus". Berlin; Offenbach: VDE-Verlag, 1993, pp. 15-36
- [5] Nurlailati, *Analisis Degradasi Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi karena Proses Penjejukan dan Erosi*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [6] Janus, Patrick, *Acoustic Emission properties of Partial Discharge in Time-Domain and Their Application*. Master's Degree Project, Stockholm, Sweden. 2012
- [7] MM Yaacob, et al, *Detection and Wavelet Analysis of Acoustic Emission Signal from Partial Discharge Captured by Multimode Optical Fiber and Piezoelectric Sensors in Insulation Oil*. FKE (IVAT) and Advanced Teknologi Malaysia, Malaysia. 2013
- [8] Nainggolan, Jannus, et al, *Diagnostics of Insulation Deterioration of Ethylene Propylene Rubber Using an Acoustic Emission Technique*. IEEE, Vol.17, Issue 4. 2010. Pp.1242-1248.